

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ : ΠΕΡΙΣΦΙΞΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ (FRP)

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η χρήση μανδρών από ινοπλισμένα πολυμερή υλικά (FRP) ως μέσω ενίσχυσης υποστυλωμάτων. Αρχικά γίνεται μια αναφορά στα υλικά που συνθέτουν τα FRP (ίνες, μήτρες) και στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζουν σε σχέση με τους παραδοσιακούς τρόπους ενίσχυσης των κατασκευών. Στη συνέχεια αναλύονται περιληπτικά δύο μελέτες (μία πειραματική και μία αναλυτική) με σκοπό την μελέτη της αποτελεσματικότητας σε περίσφιξη υποστυλωμάτων ενισχυμένων με μανδρές από FRP και των παραμέτρων που την επηρεάζουν.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί μια νέα τεχνική ενίσχυσης, η οποία βασίζεται στην εξωτερική επικόλληση σύνθετων υλικών σε υποστυλώματα, τα οποία είτε είναι δυνατόν να έχουν υποστεί βλάβες από σεισμό, είτε να παρουσιάζουν ανεπάρκεια αντοχής ή πλαστιμότητας, είτε γιατί απαιτείται αλλαγή χρήσης. Τα σύνθετα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι ινοπλισμένα πολυμερή, ονομάζονται FRP (Fiber Reinforced Polymers) και αποτελούνται από συνεχείς κυρίως ίνες γυαλιού, άνθρακα ή αραμιδίου, σε συνδυασμό με εποξειδική ρητίνη. Η εφαρμογή τους ως μέθοδος ενίσχυσης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος συνίσταται στην μέσω εποξειδικών ρητινών επικόλλησή τους σε εξωτερικές επιφάνειες δομικών στοιχείων, με προσανατολισμό των ινών τέτοιο ώστε να παραλαμβάνουν σημαντικές εφελκυστικές δυνάμεις. Η μέθοδος ενίσχυσης υπερτερεί σε σχέση με τους παραδοσιακούς τρόπους ενίσχυσης γιατί εφαρμόζεται εύκολα, τα υλικά που χρησιμοποιούνται έχουν μικρό πάχος και άρα δεν μειώνεται ο διαθέσιμος χώρος της κατασκευής ούτε δημιουργούνται αντιαισθητικές προσθήκες στο εσωτερικό του κτιρίου. Για τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας της χρήση σύνθετων υλικών σε θέματα ενίσχυσης υποστυλωμάτων έχουν γίνει πολλά πειράματα και αναλυτικές μελέτες όπως αυτές που αναφέρονται στα [1]-[6].

2. ΤΥΠΟΙ ΙΝΩΝ

ΓΥΑΛΙ : Πάνω από το 90% των ινών που χρησιμοποιούνται στην ενίσχυση είναι ίνες γυαλιού, αφού είναι υλικό φθινό, εύκολο στην παραγωγή και έχει υψηλή αντοχή και δυσκαμψία. Η μικρή πυκνότητα του, η ανθεκτικότητα του σε χημικά και η άριστη μονωτική του ικανότητα είναι μερικά από τα κύρια χαρακτηριστικά του [7],[8]. (Εικόνα 1)



Εικόνα 1: Ίνες γυαλιού [10].

ΑΡΑΜΙΔΗ : Οι ίνες αραμιδίου παρασκευάζονται από αρωματικά πολυαμίδια (μακριές πολυμερικές αλυσίδες με αρωματικούς δακτυλίους). Προσφέρουν καλές μηχανικές ιδιότητες σε μια χαμηλή πυκνότητα. Χαρακτηρίζονται από υψηλή εφελκυστική αντοχή, υψηλό μέτρο ελαστικότητας και χαμηλό βάρος. Η πυκνότητα των ινών αραμιδίου είναι μικρότερη από αυτή των ινών γυαλιού και άνθρακα. Έχουν υψηλή ανθεκτικότητα τόσο σε πυρκαγιά όσο και υψηλές θερμοκρασίες, καθώς επίσης είναι απρόσβλητες από οργανικούς διαλύτες η συμπίεστική δύναμη [7],[8]. Η πιο επιτυχής οργανική ίνα που παρασκευάστηκε βιομηχανικά είναι εκείνη που αναπτύχθηκε από την εταιρία Du Pont με την επωνυμία Kevlar. Υπάρχουν δύο τύποι



Εικόνα 2: Ίνες αραμιδίου [10].

ινών Kevlar : Kevlar 29 και Kevlar 49. το Kevlar 29 έχει υψηλή αντοχή και μέτριο μέτρο ελαστικότητας. Το Kevlar 49 έχει υψηλότερο μέτρο ελαστικότητας, αλλά την ίδια αντοχή με το Kevlar 29 και είναι το πλέον κατάλληλο υλικό για ενίσχυση [9]. (Εικόνα 2)

ΑΝΘΡΑΚΑΣ : Οι ίνες άνθρακα παρασκευάζονται συνήθως από πολυ-ακρίλο-νιτρίλιο (polyacrylonitrile, PAN) ή πίσσα και χαρακτηρίζονται από υψηλή αντοχή και μέτρο ελαστικότητας, χαμηλή πυκνότητα και έχουν διάμετρο 5-8 μm [9]. Διακρίνονται σύμφωνα με τις χαρακτηριστικές τους ιδιότητες σε ίνες : υψηλής αντοχής (high strength HS), μέσου μέτρου ελαστικότητας (intermediate modulus IM), υψηλού μέτρου ελαστικότητας (high modulus HM) και πολύ υψηλού μέτρου ελαστικότητας (ultra high modulus UHM). Οι ίνες άνθρακα έχουν την υψηλότερη ειδική δυσκαμψία (δυσκαμψία / πυκνότητα) σε σχέση με τις άλλες ίνες και πολύ υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό και θλίψη καθώς επίσης είναι ανθεκτικές σε διάβρωση, ερπυσμό και κόπωση [10]. (Εικόνα 3)



Εικόνα 3: Ίνες άνθρακα [10].

Συγκεντρωτικά, τα χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων ινών παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά διαφόρων τύπων ινών [9],[11].

Υλικό	Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa)	Αντοχή σε εφελκυσμό (GPa)	Πυκνότητα g/cm^3
Kevlar 29	70	2.9	1.45
Kevlar 49	135	2.9	1.45
Άνθρακας HS	235	3.5	1.76
>> IM	295	5.6	1.74
>> HM	400	-	1.86
>> UHM	690	3.3	2.17
Γυαλί E-Glass	72 - 75	3.5	2.54
Χάλυβας	200	0.7 – 2.0	7.8

3. ΜΗΤΡΑ

Μήτρα είναι το στερεό υλικό που περιβάλλει τις ίνες και τις συγκρατεί στην επιθυμητή θέση, τις προστατεύει από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και μεταφέρει φορτία μεταξύ των ινών. Το υλικό της μήτρας μπορεί να είναι από μέταλλο, πολυμερές, άνθρακας ή κεραμικό. Τα θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή (ρητίνες) είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως σαν υλικά μήτρας και τα πλέον φθηνότερα. Η επιλογή του τύπου της ρητίνης που θα επιλεγεί εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής που απαιτείται [12]. Οι εποξειδικές ρητίνες είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος μήτρας, ενώ σπανιότερα χρησιμοποιείται πολυεστέρας ή βινυλεστέρας. Αυτές υπερέχουν των άλλων τύπων μήτρας εξαιτίας των εξαιρετικών μηχανικών χαρακτηριστικών και της μεγάλης ανθεκτικότητας σε δυσμενείς περιβαλλοντικές επιδράσεις[11].

Συνοψίζοντας τα παραπάνω η μήτρα αναλαμβάνει αμελητέο ποσοστό του φορτίου αλλά ο ρόλος της είναι πολύ σημαντικός στα σύνθετα υλικά και έγκειται στα εξής [11]:

- Συγκρατεί τις ίνες στην επιθυμητή διεύθυνση και θέση
- Εξασφαλίζει την μεταφορά των φορτίων στις δύσκαμπτες ίνες, έχοντας κατάλληλες μηχανικές ιδιότητες.
- Προστατεύει τις ίνες από εξωτερικούς παράγοντες που μπορεί να τις φθείρουν

- Καθορίζει αρκετές από τις μηχανικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών (διατμητική, θλιπτική αντοχή κάθετα στην διεύθυνση των ινών).

4. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Η χρήση των σύνθετων υλικών στην ενίσχυση δομικών στοιχείων παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών τεχνικών ενίσχυσης. Γενικά τα σύνθετα υλικά

- έχουν χαμηλό βάρος (περίπου το 1/4 του χάλυβα) καθώς επίσης κατά την τοποθέτησή τους δεν χρειάζεται η χρήση ικριωμάτων, με αποτέλεσμα να εξασφαλίζουν ευκολία και ταχύτητα της εφαρμογής της τεχνικής αυτής ακόμα και σε σημεία με δύσκολη πρόσβαση [11]
- έχουν υψηλή ειδική αντοχή και ειδική δυσκαμψία (ο λόγος της εφελκυστικής αντοχής ή της δυσκαμψίας προς την πυκνότητα αντίστοιχα) συντελεί στην αύξηση της καμπτικής και διατμητικής αντοχής και της δυσκαμψίας του προς ενίσχυση δομικού στοιχείου [13]
- παράγονται σε εύκαμπτη και ποικίλη μορφή, με αποτέλεσμα το σύστημα ενίσχυσης να μπορεί να εφαρμόζεται σε διατομές οποιουδήποτε σχήματος και διαστάσεων [13]
- παράγονται σε μεγάλα μήκη, σε αντίθεση με τα χαλύβδινα ελάσματα και διαμήκεις βέργες οπλισμού που διατίθενται σε ορισμένα μήκη [14]
- έχουν μικρό πάχος και έτσι δεν αλλοιώνουν τις διαστάσεις, την αρχιτεκτονική και την αισθητική του κτιρίου. Γι' αυτό το λόγο η τεχνική αυτή ενίσχυσης βρίσκεται εφαρμογές σε επεμβάσεις σε κτίρια σημαντικής αρχιτεκτονικής και ιστορικής αξίας
- έχουν ανθεκτικότητα σε διάβρωση [13]
- τέλος, έχουν χαμηλό κόστος συντήρησης [13]

Ωστόσο τα σύνθετα υλικά έχουν και κάποια μειονεκτήματα, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω. Ειδικότερα :

- τα σύνθετα υλικά έχουν μεγάλο κόστος, με αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους της ενίσχυση [13]
- παρουσιάζουν φτωχή συμπεριφορά σε υψηλές θερμοκρασίες, της τάξης 50 – 80 °C (θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης), οι οποίες μετατρέπουν την εποξειδική ρητίνη σε “πλαστικό” υλικό και έτσι μειώνεται η ικανότητα ανάληψης δυνάμεων και το μέτρο ελαστικότητας. Σε θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς επέρχεται πλήρης αποσύνθεση των ρητινών και επομένως τα σύνθετα υλικά καθίστανται ανενεργά [14]
- παρουσιάζουν φτωχή συμπεριφορά στην υπεριώδη ακτινοβολία, η οποία επιφέρει αλλοίωση της ισχύος των δεσμών και γενικά μείωση της αντοχής στην μήτρα των σύνθετων υλικών που εκτίθενται σε αυτή [14]
- υπάρχει απουσία κανόνων σχεδιασμού [13]
- υπάρχει έλλειψη πλαστιμότητας, παρότι έχουν υψηλή παραμορφωσιμότητα η οποία μπορεί να επιφέρει αύξηση της πλαστιμότητας [14]
- υπάρχει έλλειψη εμπειρίας σχεδιασμού με σύνθετα πολυμερή υλικά σε κτιριακές κατασκευές και γενικά σε έργα πολιτικού μηχανικού [13]
- υπάρχει έλλειψη γνώσεων στον τεχνικό κόσμο λόγω του ότι αποτελεί σύγχρονη τεχνική ενίσχυσης [13]

5. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ FRP

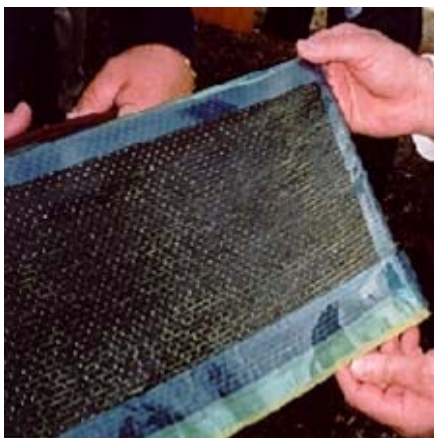
Μια από τις πιο συνηθισμένες εφαρμογές των ινοπλισμένων πλαστικών υλικών είναι αυτή της ενίσχυσης υποστυλωμάτων. Η ενίσχυση μπορεί να επιτευχθεί είτε με “περιτύλιξη” των μελών με ταινίες από σύνθετα υλικά είτε με χρήση μανδύων από τα ίδια υλικά (Εικόνες 4,5,6,7) [11]. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου, η οποία έχει αποδειχθεί από πειραματικά αποτελέσματα, συνίσταται στην αύξηση του εγκιβωτισμού και άρα αύξηση της θλιπτικής αντοχής, αύξηση της πλαστιμότητας [3], βελτίωση του μηχανισμού ανάληψης τεμνουσών δυνάμεων και βελτίωση της αντοχής του διαμήκου οπλισμού σε λυγισμό, καθώς και στην αύξηση της καμπτικής και διατμητικής αντοχής των μελών. Σημαντικά πλεονεκτήματα της μεθόδου έναντι αντίστοιχων με χάλυβα, όπως αναφέρονται και παραπάνω, είναι ότι τα υλικά αυτά δεν διαβρώνονται, έχουν μικρό βάρος, είναι διαθέσιμα σε μεγάλες διαστάσεις, αναπτύσσουν μεγάλες αντοχές, μπορούν να αναπτύξουν μεγάλες ελαστικές παραμορφώσεις [11]. Παράλληλα με τη μέθοδο αυτή μειώνεται ο κατασκευαστικός χρόνος καθώς επίσης έχει χαμηλό κόστος συντήρησης [14].



Εικόνα 4: Ενίσχυση υποστυλώματος με χρήση μανδύα από FRP [8].



Εικόνα 5: Ενίσχυση υποστυλώματος με χρήση μανδύα από FRP [8].



Εικόνα 6: Μανδύας από FRP [8].

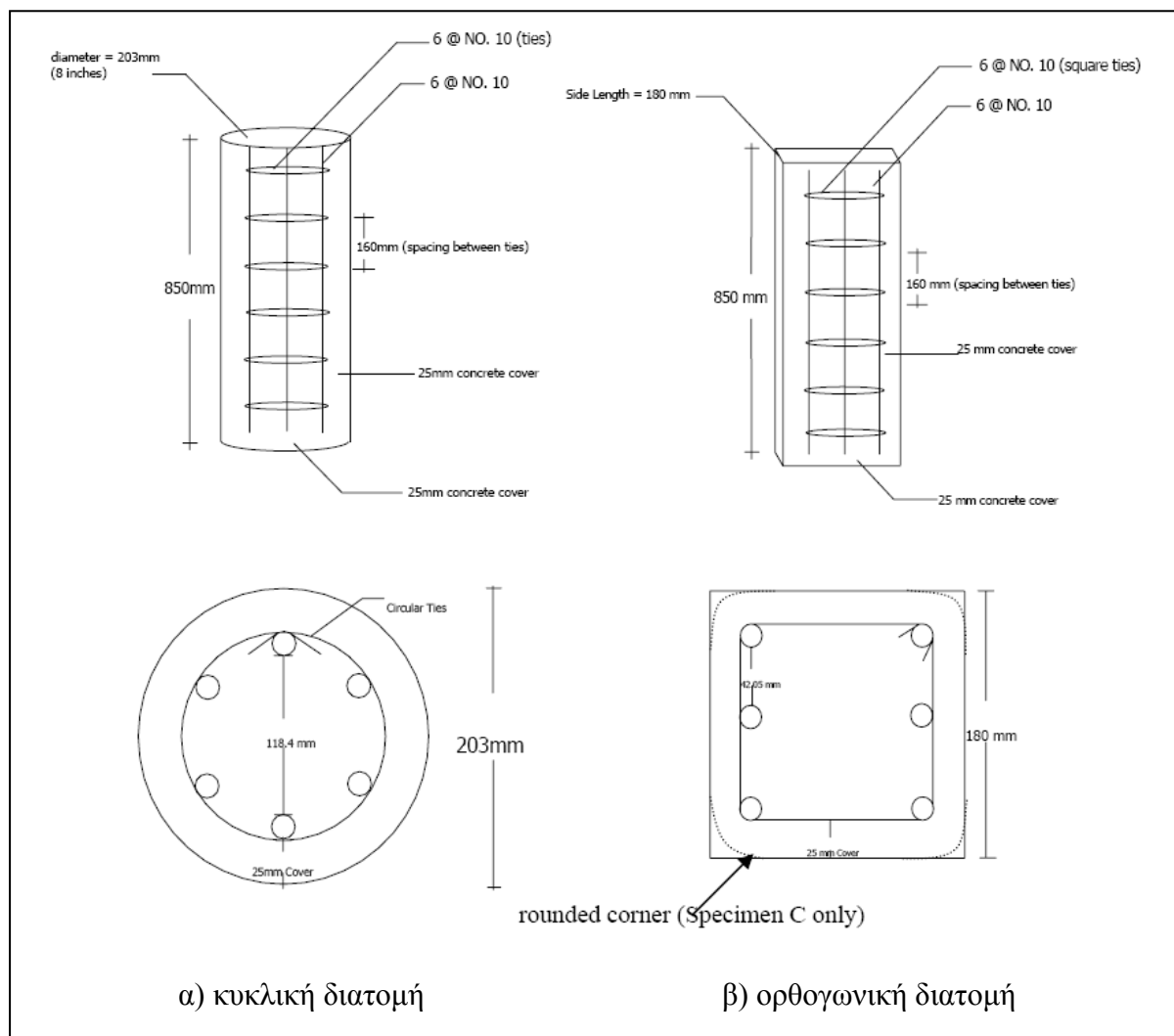


Εικόνα 7: Ενίσχυση υποστυλώματος με χρήση μανδύα από FRP [8].

Η αύξηση της φέρουσας ικανότητας σε αξονικό φορτίο ενός υποστυλώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα επιτυγχάνεται με χρήση περίσφιξης, η οποία γίνεται με τοποθέτηση μανδύων από σύνθετο υλικό στην περίμετρο των υποστυλωμάτων, με τις ίνες στην περιμετρική διεύθυνση [11]. Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι τα σύνθετα υλικά κρίνονται ως αποτελεσματικά τόσο σε κυκλικά όσο σε ορθογωνικά/τετραγωνικά υποστυλώματα.

Παρακάτω παρουσιάζονται δύο από τις μελέτες, μία πειραματική και μία αναλυτική που έχουν γίνει από τους M. Reza Esfahani & M. Reza Kianoushi [6] και Gebran Karam & Mazen Tabbara [3] αντίστοιχα για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας της περίσφιξης υποστυλωμάτων με χρήση σύνθετων υλικών. Παρουσιάζεται επίσης η επίδραση των γωνιών των ορθογωνικών υποστυλωμάτων.

Πειραματική μελέτη : Το πειραματικό μέρος της μελέτης αυτής περιελάμβανε δοκιμή σε θλίψη μέχρι την αστοχία 6 κολώνων οπλισμένου σκυροδέματος σε δύο σειρές. Η πρώτη αποτελούνταν από 3 ίδιες κολώνες οπλισμένου σκυροδέματος κυκλικής διατομής τυλιγμένες με FRP. Η δεύτερη σειρά περιελάμβανε 3 ίδιες κολώνες τετραγωνικής διατομής επίσης τυλιγμένες με FRP, όπου σε μια από αυτές είχαν στρογγυλέψει τις γωνίες. Οι διαστάσεις των δοκιμών φαίνονται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1: Διατομές δοκιμών α) κυκλική διατομή, β) ορθογωνική διατομή [6].

Για να προσδιοριστεί η επίδραση της περίσφιξης με FRP, υπολογίστηκε η αντοχή του απερίσφικτου οπλισμένου σκυροδέματος σύμφωνα με το CSA(Canadian Standards Assosiation) Standard A23.3-94(καναδέζικο κανονισμό σχεδιασμού κατασκευών).

Η σύγκριση μεταξύ των πειραματικών αποτελεσμάτων και του υπολογισμού της αντοχής απερίσφικτου σκυροδέματος δείχνει ότι η χρήση FRP, ως μέσω περίσφιξης υποστυλωμάτων, αύξησε σημαντικά την αντοχή των υποστυλωμάτων κυκλικής διατομής (περίπου 44%). Παράλληλα η ολκιμότητα των υποστυλωμάτων αυτών βελτιώθηκε λόγω της εφαρμογής των μανδύων FRP. Αντίθετα, η εφαρμογή των μανδύων FRP δεν αύξησε την αντοχή των υποστυλωμάτων τετραγωνικής διατομής. Ωστόσο εάν οι γωνίες των υποστυλωμάτων ήταν στρογγυλεμένες τότε επιτυγχάνεται σημαντική αύξηση της αντοχής (περίπου 16%) και της ολκιμότητάς τους [6].

Αναλυτική μελέτη : Μία επίσης σημαντική αναλυτική μελέτη είναι αυτή των Gebran Karam και Mazen Tabbara [3] που ασχολείται με την αποτελεσματικότητα της περίσφιξης με χρήση μανδύων FRP σε υποστυλώματα ορθογωνικής διατομής. Η μελέτη έγινε ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων και τα αποτελέσματά της είναι πολύ σημαντικά. Συγκεκριμένα βρέθηκε ότι οι κύριες παράμετροι που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της περίσφιξης σε υποστυλώματα ορθογωνικής διατομής είναι: (i) ο λόγος των ημιδιαστάσεων του υποστυλώματος (συντελεστής σχήματος) a/b , (ii) ο λόγος της ημιδιάστασης της μικρής διάστασης του υποστυλώματος προς την καμυλότητα των γωνιών του (συντελεστής οξύτητας γωνιών) a/R , και (iii) ο “συντελεστή αντοχής λόγω περίσφιξης” που είναι ο λόγος του πάχους του FRP προς την ημιδιάσταση της μικρής διάστασης του υποστυλώματος επί το λόγο των μέτρων ελαστικότητας του σύνθετου υλικού και του απερίσφικτου σκυροδέματος $(t/a)(E_j/E_c)$, σε μικρότερο όμως βαθμό. Πιο συγκεκριμένα παρατηρήθηκε ότι η αποτελεσματικότητα της περίσφιξης μειώνεται α) σχεδόν γραμμικά με την αύξηση του λόγου a/R και β) με τη μείωση των λόγου a/b (συντελεστής σχήματος). Παρατηρήθηκε επίσης ότι η συσσωρεύσει της έντασης στις γωνίες του παθητικά περισφιγμένου σκυροδέματος ορθογωνικής διατομής είναι υπεύθυνη για τη μείωση της αποτελεσματικότητας της περίσφιξης, καθώς και για την πρόκληση τοπικής αστοχίας [3].

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ενίσχυση μελών οπλισμένου σκυροδέματος με ινοπλισμένα πολυμερή αποτελεί μια νέα τεχνική που παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων παραδοσιακών τεχνικών, αλλά και κάποια μειονεκτήματα. Σημαντικά πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι τα σύνθετα υλικά έχουν μικρό βάρος, δεν διαβρώνονται και μπορούν να αναπτύξουν μεγάλες ελαστικές παραμορφώσεις. Σαν μειονεκτήματα μπορούν να θεωρηθούν το υψηλό κόστος των σύνθετων υλικών, η φτωχή συμπεριφορά σε υψηλές θερμοκρασίες και στην υπεριώδη ακτινοβολία, η έλλειψη εμπειρίας σχεδιασμού και η έλλειψη γνώσης στο τεχνικό κόσμο.

Ειδικά στην ενίσχυση υποστυλωμάτων με μανδύες από σύνθετα υλικά η περίσφιξη που επιτυγχάνεται είναι αποτελεσματική σε υποστυλώματα κυκλικής διατομής. Είναι όμως λιγότερο αποτελεσματική μέθοδος όταν εφαρμόζεται σε υποστυλώματα τετραγωνικής διατομής. Οι κύριες παράμετροι που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της περίσφιξης είναι : α) ο λόγος των διαστάσεων του υποστυλώματος και β) η καμυλότητα των γωνιών του.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Huei – Jeng Lin and Chin-I Liao, “COMPRESSIVE STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE COLUMN CONFINED BY COMPOSITE MATERIAL”, COMPOSITE STRUCTURES 65 (2004) p. 239 – 250.
- [2] ABDELHADY HOSNY, HAMDY SHAHIN, AMR ABDELRAHMAN, TAMER EL – AFANDY, “STRENGTHENING OF RECTANGULAR RC COLUMNS USING CFRP”, FRPRCS – 5, THOMAS TELFORD, LONDON, 2001.
- [3] Gebran Karam and Mazen Tabbara, “CONFINED EFFECTIVENESS IN RECTANGULAR CONCRETE COLUMNS WITH FIBER POLYMER WRAPS”, JOURNAL OF COMPOSITES FOR CONSTRUCTION © ASCE / SEPTEMBER / OCTOBER 2005, p. 388 – 396.
- [4] K. H. TAN, “STRENGTHENING OF RECTANGULAR RC COLUMNS USING FRP SYSTEMS”, FRP COMPOSITE IN CIVIL ENGINEERING, Vol I J. G. TENG (Ed) © 2001.
- [5] Azadeh Parvin, Wei Wang, “CONCRETE COLUMNS CONFINED BY FIBER COMPOSITE WRAPS UNDER COMBINED AXIAL AND LATERAL LOADS”, Composite Structures 58 (2002) p. 539 - 549.
- [6] M. Reza Esfahani & M. Reza Kianoushi, Ryerson University, Toronto, Canada, M5B 2K3, “AXIAL COMPRESSIVE STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE WRAPPED WITH FRP”, 1stConference on Application of FRP Composites in Construction and Rehabilitation of Structures, May 4, 2004, Tehran, Iran. P.51 - 60
- [7] S.C. SHARMA , “COMPOSITE MATERIALS”, Narosa Publishing House, 2000.
- [8] DAMIAN I. KACHLAKEV, Ph.D., P.E., California Polytechnic State University San Luis Obispo, “STRENGTHENING STRUCTURES USING FRP COMPOSITE MATERIALS”.
- [9] Γ. Παπανικολάου “ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ”, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΣΕΙΣ, 2004.
- [10] SP Guide to Composites.
- [11] Θ. Χ. Τριανταφύλλου , “ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ”.
- [12] Calvin D. Austin, B.S. in Civil Engineering, University of Pittsburgh, 2000, “BUCKLING OF SYMMETRIC LAMINATED FIBERGLASS REINFORCED PLASTIC (FRP) PLATES”, Thesis.
- [13] M. F. Humphreys, “THE USE OF POLYMER COMPOSITES IN CONSTRUCTION.
- [14] ΝΤΕΛΜΕΚΟΥΡΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ, “ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΝΟΡΓΑΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ”, φοιτητικό συνέδριο “Επισκευές – Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα”, Πάτρα 2005.

